Ondes ultrasonores et deux applications

Bac S 2007 Asie (ancien programme) · Exercice 1 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Déterminer la fréquence f des ultrasons émis.

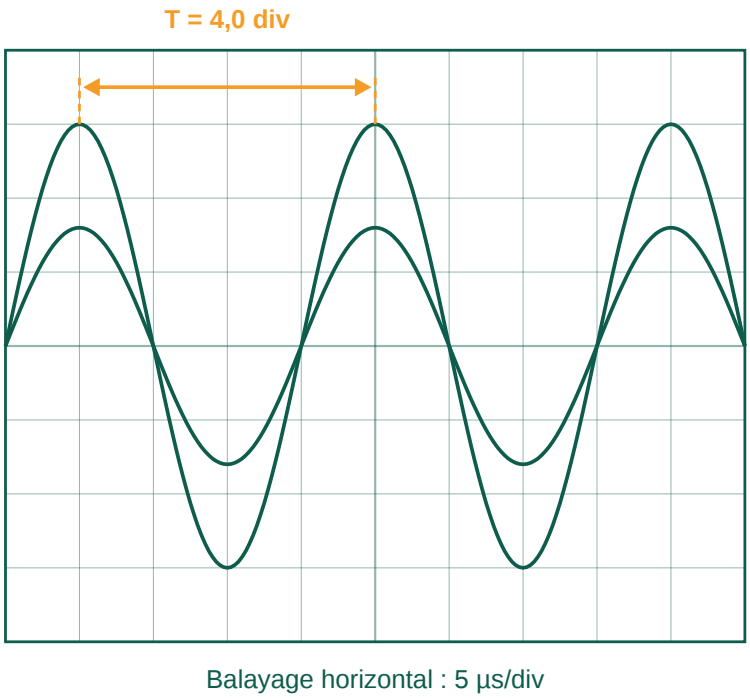
Données utiles oscillogramme, balayage horizontal : $5\ \mu s/\text{div}$

Sur l'écran, une période occupe 4,0 divisions (d'un maximum au maximum suivant) :

$T = 4{,}0 \times 5 = 20\ \mu s = 2{,}0 \times 10^{-5}\ \text{s}$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2{,}0 \times 10^{-5}} = 0{,}50 \times 10^{5}\ \text{Hz}$$

$$\boxed{f = 5{,}0 \times 10^{4}\ \text{Hz} = 50\ \text{kHz}}$$



1.1 · Oscillogramme du sujet : une période occupe 4,0 divisions

PIÈGE
Oublier de convertir les microsecondes en secondes : $1\ \mu s = 10^{-6}$ s. Les deux courbes ont la même période, seule l'amplitude diffère.

COMPRENDRE
La valeur dépasse 20 kHz, limite supérieure des sons audibles : ce sont bien des ultrasons. Sans calculatrice, écrire $\frac{1}{2{,}0} = 0{,}50$ puis gérer la puissance de dix à part.

MÉTHODE
Pour gagner en précision, mesurer plusieurs périodes : entre le premier et le troisième maximum, on lit 8,0 divisions pour $2T$, ce qui redonne $T = 20\ \mu s$.

1.2 Définir en une phrase la longueur d'onde λ ; écrire la relation entre λ, la célérité v et la période T.

La longueur d'onde est la distance dont l'onde progresse, à la célérité v, pendant une durée égale à sa période T.

$$\boxed{\lambda = v \times T}$$

COMPRENDRE
Autre définition acceptée : plus petite distance séparant deux points du milieu qui vibrent en phase. C'est la période spatiale de l'onde, comme T est sa période temporelle.

1.3 Exprimer en fonction de T le retard τ du signal reçu en R'_2 par rapport à celui reçu en R_2. En déduire la longueur d'onde.

Données utiles $d = 2{,}8\ \text{cm}$; $d' = 3{,}5\ \text{cm}$

En R_2 comme en R'_2, le signal est en phase avec celui de R_1, et R'_2 est la première position où la coïncidence se reproduit : la courbe s'est décalée d'exactement une période.

$\tau = T$

Ce retard est la durée mise par l'onde pour aller de R_2 à R'_2 : $\tau = \dfrac{d' - d}{v}$, donc $d' - d = v \times T = \lambda$.

$\lambda = d' - d = 3{,}5 - 2{,}8 = 0{,}7\ \text{cm}$

$\boxed{\tau = T \text{ et } \lambda = 0{,}7\ \text{cm} = 7 \times 10^{-3}\ \text{m}}$

PIÈGE
Prendre $\lambda = d$ ou $\lambda = d'$. Ces distances valent un nombre entier de longueurs d'onde (4λ et 5λ) ; c'est le déplacement entre deux coïncidences successives qui vaut λ.

COMPRENDRE
Une différence de deux longueurs lues au millimètre près n'a qu'un chiffre significatif ici : λ est connue à 0,1 cm près. Les résultats qui en découlent sont donc peu précis.

1.4 Calculer la célérité des ultrasons dans l'air.

Données utiles $\lambda = 7 \times 10^{-3}\ \text{m}$ (1.3) ; $f = 5{,}0 \times 10^{4}\ \text{Hz}$ (1.1)

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \times f$$

$v = 7 \times 10^{-3} \times 5{,}0 \times 10^{4} = 35 \times 10^{1}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

$\boxed{v_{\text{air}} \approx 3{,}5 \times 10^{2}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}}$

PIÈGE
Laisser λ en centimètres : on obtiendrait une célérité en $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$.

COMPRENDRE
Avec un seul chiffre significatif sur λ, la célérité n'est connue qu'à quelques dizaines de $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ près. Le résultat est cohérent avec la valeur usuelle, voisine de $340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ dans l'air.

1.5 Dans l'eau, à la même fréquence, il faut éloigner R_2 d'une distance 4 fois plus grande que dans l'air pour retrouver des signaux en phase. Déterminer la célérité des ultrasons dans l'eau.

Données utiles $v_{\text{air}} = 3{,}5 \times 10^{2}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (1.4)

La distance entre deux coïncidences successives est la longueur d'onde : $\lambda_{\text{eau}} = 4\,\lambda_{\text{air}}$.

La fréquence est inchangée et $v = \lambda \times f$, donc la célérité est proportionnelle à la longueur d'onde :

$$v_{\text{eau}} = \lambda_{\text{eau}} \times f = 4\,\lambda_{\text{air}} \times f = 4\,v_{\text{air}}$$

$v_{\text{eau}} = 4 \times 3{,}5 \times 10^{2}$

$\boxed{v_{\text{eau}} \approx 1{,}4 \times 10^{3}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}}$

COMPRENDRE
La fréquence est imposée par l'émetteur ; la célérité dépend du milieu. La valeur trouvée est proche des $1500\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ donnés à la question 3 pour un milieu riche en eau.

2.1 Définir une onde mécanique progressive.

Une onde mécanique progressive est la propagation d'une perturbation dans un milieu matériel, de proche en proche, avec transport d'énergie mais sans transport de matière.

PIÈGE
Trois éléments sont attendus : perturbation qui se propage, milieu matériel, absence de transport de matière. « Mécanique » signifie qu'un milieu matériel est nécessaire, contrairement à la lumière.

2.2 S'agit-il d'une onde longitudinale ou transversale ?

Le disque se dilate et se contracte : il pousse et relâche le liquide dans la direction où l'onde avance. Les tranches de liquide sont comprimées puis détendues parallèlement à la direction de propagation.

L'onde ultrasonore est **longitudinale** : la perturbation a la même direction que la propagation.

MÉTHODE
Comparer deux directions : celle de la perturbation et celle de la propagation. Parallèles : onde longitudinale (son, ressort comprimé). Perpendiculaires : onde transversale (corde, surface de l'eau).

2.3 Interpréter brièvement la formation puis l'implosion des microbulles dans une tranche de liquide.

Formation : au passage d'une dépression, la pression dans la tranche chute fortement. La température d'ébullition du liquide baisse alors jusqu'à devenir inférieure à la température du liquide : celui-ci se vaporise localement et des microbulles de vapeur apparaissent.

Implosion : une demi-période plus tard, la même tranche est en surpression. La pression du liquide autour des bulles devient supérieure à la pression de la vapeur qu'elles contiennent : les bulles sont brutalement écrasées.

Dépression : vaporisation locale du liquide, donc bulles ; surpression qui suit : pression extérieure supérieure à la pression intérieure, donc implosion.

MÉTHODE
Dans une question d'interprétation avec données, utiliser explicitement chaque donnée : ici la première explique la naissance des bulles, la seconde leur disparition.

3.1 Quelle est la durée Δt du parcours de l'onde ultrasonore dans l'hémisphère gauche, ainsi que dans le droit ?

Données utiles échogramme : $t_1 = 10{,}0\ \mu s$ (P_1) ; $t_2 = 160\ \mu s$ (P_2) ; $t_3 = 310\ \mu s$ (P_3)

L'écho P_2 a traversé l'hémisphère gauche à l'aller et au retour, en plus du trajet de l'écho P_1 :

$\Delta t_G = t_2 - t_1 = 160 - 10{,}0 = 150\ \mu s$

De même, l'écho P_3 a parcouru en plus l'hémisphère droit, aller et retour :

$\Delta t_D = t_3 - t_2 = 310 - 160 = 150\ \mu s$

$\Delta t = 150\ \mu s = 1{,}50 \times 10^{-4}$ s dans chaque hémisphère (aller et retour).

PIÈGE
Prendre $t_2 = 160\ \mu s$ comme durée dans l'hémisphère gauche : cette date comprend aussi le trajet entre la sonde et la surface externe du cerveau.

3.2 En déduire la largeur L de chaque hémisphère.

Données utiles $v = 1500\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $\Delta t = 1{,}50 \times 10^{-4}$ s (3.1) ; aide au calcul : $15 \times 15 = 225$

Pendant Δt, l'onde traverse deux fois l'hémisphère (aller puis retour) : elle parcourt $2L$ à la célérité v.

$$2L = v \times \Delta t \quad \text{donc} \quad L = \frac{v \times \Delta t}{2}$$

$$L = \frac{1500 \times 150 \times 10^{-6}}{2} = \frac{15 \times 15 \times 10^{3} \times 10^{-6}}{2} = \frac{225}{2} \times 10^{-3} = 112{,}5 \times 10^{-3}\ \text{m}$$

$L \approx 1{,}13 \times 10^{-1}$ m, soit environ $11{,}3$ cm pour chaque hémisphère.

PIÈGE
Oublier le facteur 2 : l'écho fait un aller-retour. Sans lui, on trouverait 22,5 cm par hémisphère, soit un cerveau de 45 cm de large, ce qui est absurde.

MÉTHODE
Sans calculatrice, séparer les nombres et les puissances de dix : $1500 = 15 \times 10^2$ et $150 = 15 \times 10^1$, puis utiliser l'aide au calcul fournie.